

3.7 Keramische Komponenten im Anlagenbau zur Halbleiterherstellung

- Dr. Arthur Lynen
Schunk Ingenieurkeramik GmbH
Willich-Münchheide

Die Folien finden Sie ab Seite 422.

Halbleiter- Bauelemente durchlaufen bei ihrer Herstellung eine Vielzahl von Fertigungsschritten, in denen zunächst der Halbleiterkristall erzeugt und dann dieser mit den unterschiedlichen Strukturen versehen wird, aus denen sich die jeweilige Schaltung aufbaut. Die verwendeten Prozesse stellen hohe Anforderungen an die Werkstoffe, aus denen die unterschiedlichen Einbauten der verwendeten Anlagen hergestellt werden. Als Ergänzung oder Alternative zum Quarzglas und zu Kohlenstoff- Werkstoffen, die auch der technischen Keramik zuzuordnen sind, gewinnt Siliciumcarbid zunehmend an Interesse.

Die vielen Einzelschritte des Halbleiter- Fertigungsprozesses lassen sich in Teil- Prozesse zusammenfassen, zu denen unter anderem das Kristallziehen, die Herstellung von gesägten, epitaktisch beschichteten Wafern und die Erzeugung der Schaltungsstrukturen gehören.

Aus polykristallinem Reinst-Silicium, für dessen Herstellung bereits viele chemische und thermische Verfahren notwendig sind, wird beim Czochralski-Prozess ein Einkristall erzeugt. Dabei kristallisiert das Silicium aus einer Schmelze, die sich in einem Quarztiegel befindet. Dieser steht wiederum in einem Kohlenstoff Tiegel (Folie 2). Der Verbund Kohlefaser in Kohlenstoffmatrix (CMC) besitzt auch bei Temperaturen oberhalb 1.400° C, bei denen das Silicium unter Schutzgas geschmolzen wird, die Festigkeit und die Formstabilität, die notwendig sind, um den Quarzglas- Tiegel zu stützen. Da die Einlagerung von Fremdelementen die Halbleitereigenschaften von Silicium ungünstig beeinflusst, werden die Restverunreinigungen des Tiegelmaterials durch geeignete Reinigungsschritte in den ppm Bereich gebracht (Folie 3).

Anschließend wird der Einkristall in dünne Scheiben - die Wafer - gesägt. Dazu wird er auf eine Graphitleiste aufgeklebt und entsprechend geschnitten (Folie 4). Der relativ weiche Graphit verursacht praktisch keinen zusätzlichen Verschleiß an den Sägedrähten. Durch die beim Sägen entstehenden Graphitpartikel wird der Wafer nicht zusätzlich metallisch verunreinigt.

Die eigentliche integrierte Schaltung entsteht dadurch, dass auf dem Wafer unterschiedlich leitende Schichten erzeugt und dann teilweise wieder entfernt werden (Folie 5 und 6). Zu diesem Zweck werden die Schritte

- Abscheidung,
- Mikrolithographie,
- Ätzen und
- Diffusion oder Implantation

bis zu 300 mal wiederholt (Folie 7).

In dem ersten Beschichtungsschritt erhalten die Siliciumscheiben, in denen bereits beim Kristallziehen durch Zugabe von Fremdatomen wie Phosphor oder Arsen eine n⁺-Defektstruktur erzeugt wurde, eine n dotierte Schicht (Folie 8). Diese wird epitaktisch aus der Gasphase abgeschieden, das heißt die Kristallstruktur und – orientierung aus dem Substrat setzt sich in der Beschichtung fort. Für das Epitaxieverfahren werden sogenannte Planar- und Barrelsusceptoren aus Graphit eingesetzt, deren Oberflächen mit Siliciumcarbid beschichtet sind (Folie 8). Zur Erzeugung einer isolierenden Schicht wird der Wafer anschließend oxidiert. Das Gestell, mit dem bis zu mehrere hundert Wafer in den Ofen eingefahren und dort gehalten werden, wird Wafer-Boot genannt (Folie 9). Es besteht aus Siliciuminfiltriertem- Siliciumcarbid (SiSiC), das durch Verwendung von hochreinen Rohstoffen und Anpassung des keramischen Prozesses Verunreinigungen in extrem geringer Konzentration enthält (Folie 11). Die möglichen Kontaminationen und der korrosive Angriff auf die Siliciumphase lassen sich weiter durch eine Siliciumcarbid- Beschichtung mittels CVD (Chemical vapor deposition) verringern. Bei den nächsten Schritten wird der Wafer mit Photolack beschichtet, durch Photolithographie eine Maske erzeugt und geätzt. Auch beim Ätzen wird korrosionsbeständige, hochreine Keramik, überwiegend Aluminiumoxid, für Halterungen benötigt. Durch Dotieren mit Bor werden definierte Bereiche des Wafer p-leitend gemacht (Folie 10). Die Diffusion des Bors erfolgt

bei hoher Temperatur, wieder unter Verwendung von Waferbooten. So wie die diskreten Dioden und Transistoren auf einer Printplatte durch Leiterbahnen aus Kupfer verbunden werden, erfolgt die „Verdrahtung“ der integrierten Funktionseinheiten durch Strukturen aus Polysilicium. Dieses und das für die Erzeugung von isolierenden Schichten aufgebrauchte Siliciumnitrid lagern sich auch auf den Geräten ab. Die Ausdehnungskoeffizienten dieser Ablagerungen und der von Quarzglas unterscheiden sich deutlich. Deshalb lösen sich von den immer noch weit verbreiteten Quarzgeräten beim Erreichen einer gewissen Dicke Beläge aus Silicium oder Siliciumnitrid ab. Die führen als Partikelverunreinigung zu fehlerhaften Halbleiterschaltungen. Bei Geräten aus Siliciumcarbid tritt dieses Problem nicht auf, weil die Dehnungsunterschiede wesentlich geringer sind. Im Gegensatz zu Quarzglas ist die thermische Dehnung von Siliciumcarbid größer als die von Silicium und Siliciumnitrid mit der Folge, daß sich in den Schichten anstelle von Zugspannungen die wesentlich unkritischeren Druckspannungen aufbauen. Müssen dennoch die Ablagerungen mittels Fluß- und Salpetersäure entfernt werden, so ist die Schädigung durch korrosiven Angriff beim Siliciumcarbid wesentlich geringer als beim Quarzglas.

Literaturhinweis und Bildverzeichnis:

(1): Papenburg: Faserverstärkte keramische Werkstoffe [CMC],
in „Technische Keramische Werkstoffe“,
Hrsg. J. Kriegesmann

Bilder „Kristallzucht“, „Drahtsäge“ und „Epitaxie“ wurden
freundlicherweise von Fa. Wacker Siltronic AG
zur Verfügung gestellt

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 12) finden sich auf den
folgenden Seiten.

Keramische Komponenten in Anlagen zur Halbleiterherstellung

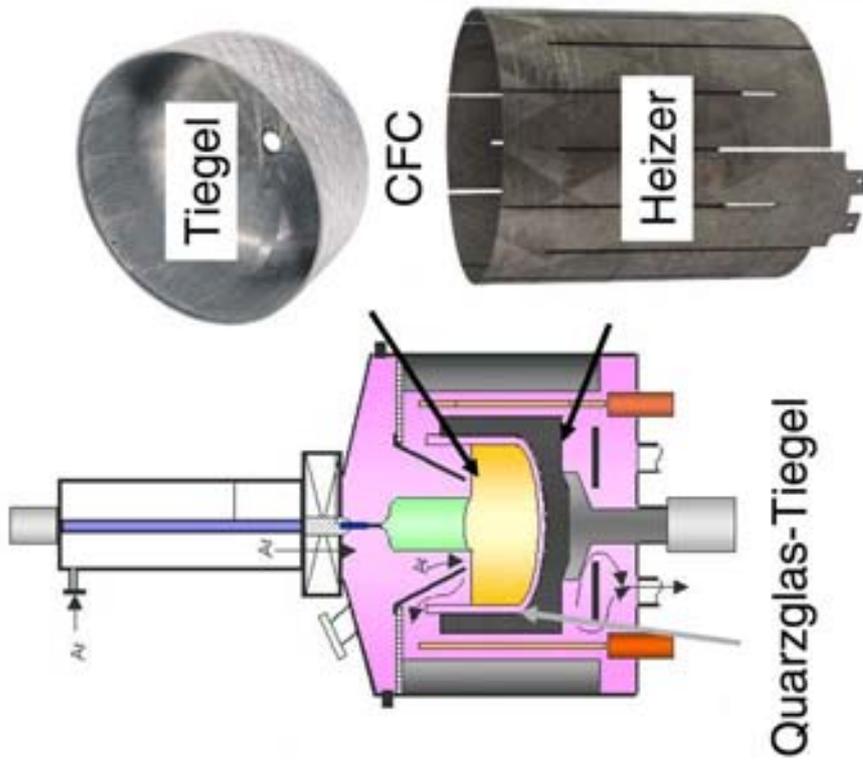
Dr. Arthur Lynen
Schunk Ingenieurkeramik GmbH
Willich-Münchheide



Vom Silicium zum integrierten Schaltkreis



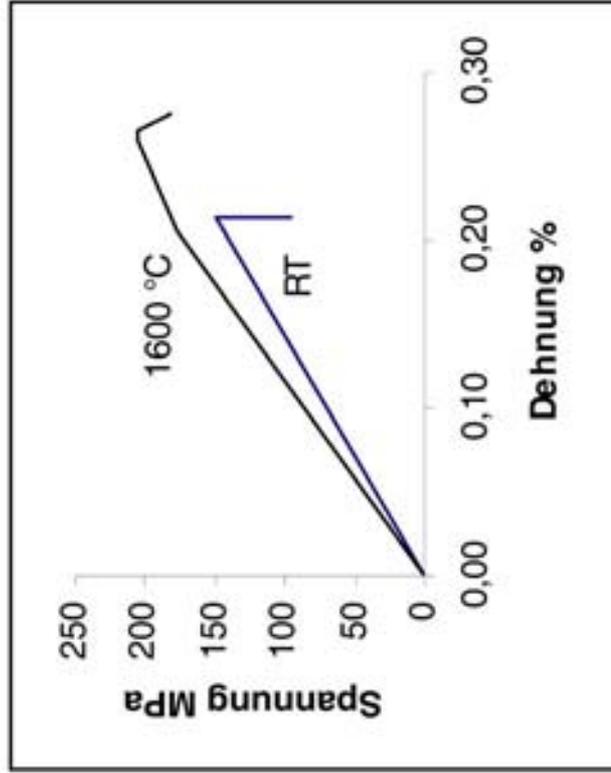
Herstellung von Siliciumeinkristallen



C/C- Werkstoffe für die Halbleitertechnik

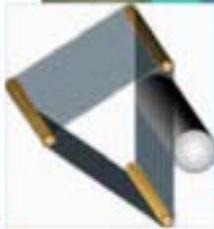
Einsatz als Heizer und als Stütztiegel bei der Herstellung von Silicium - Einkristallen

- Extreme Reinheit (Gesamtverunreinigung < 10 ppm)
- Hohe Biegefestigkeit und Formstabilität bei Prozeßtemperaturen oberhalb 1.400 °C



Papenburg: Faserverstärkte keramische Werkstoffe [CMC], in „Technische Keramische Werkstoffe“, Hrsg. J.Kriegesmann

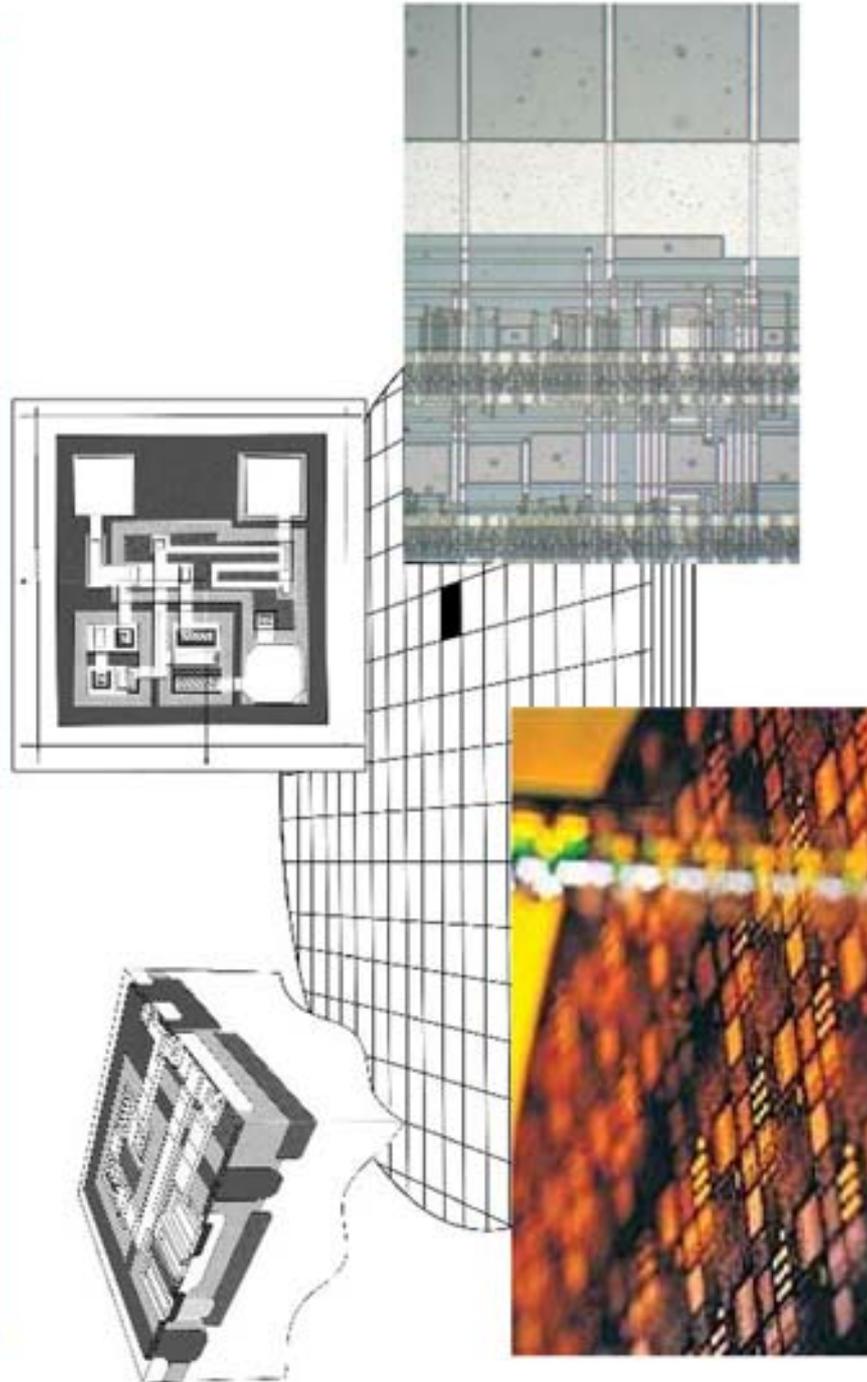
Waferherstellung durch Drahtsägen

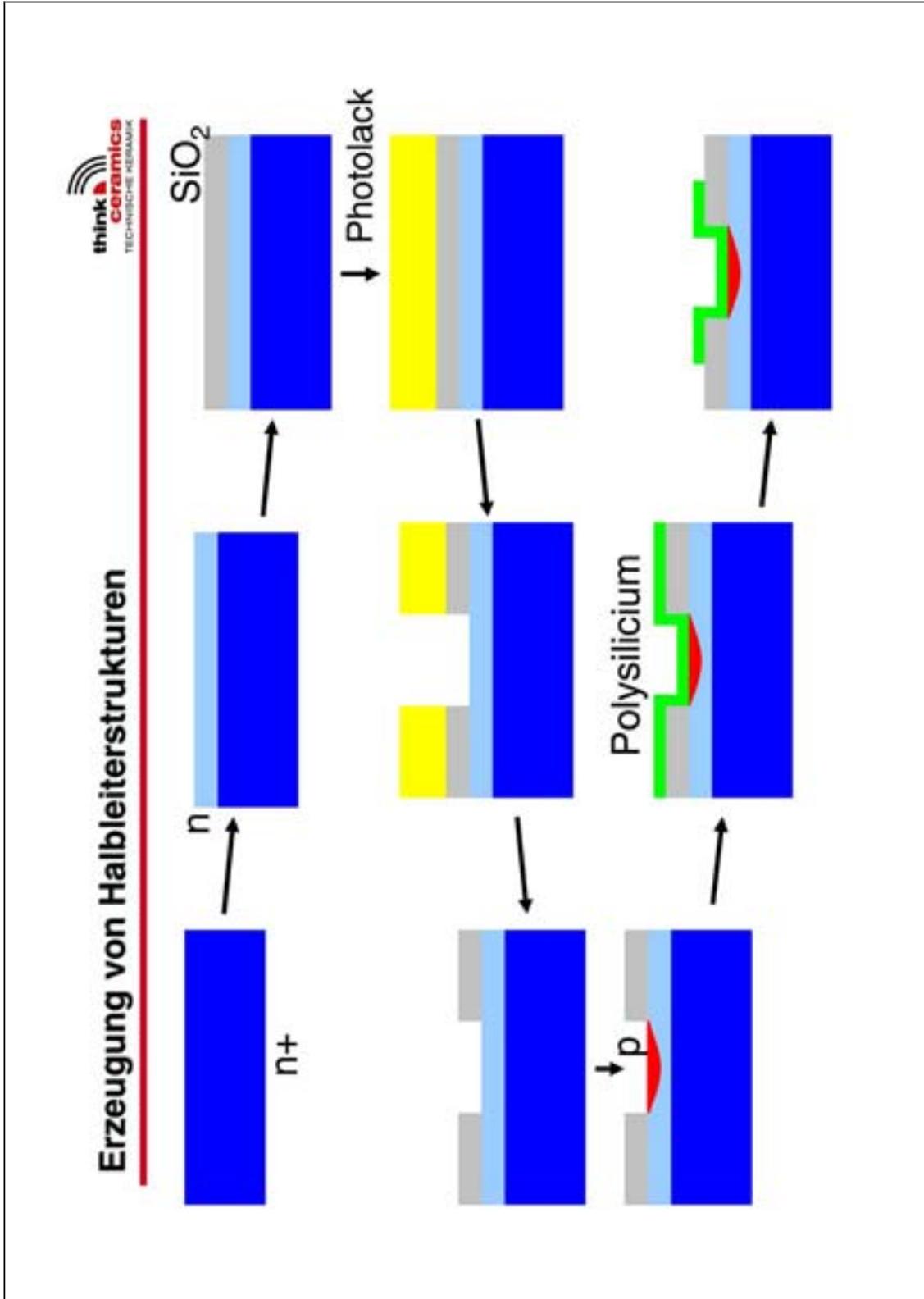


Graphit als Sägeunterlage:

- geringer zusätzlicher Verschleiß an den Sägedrähten
- keine metallischen Verunreinigungen

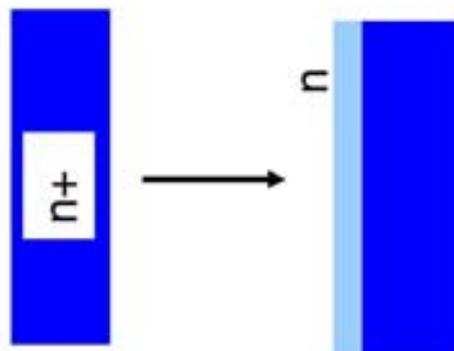
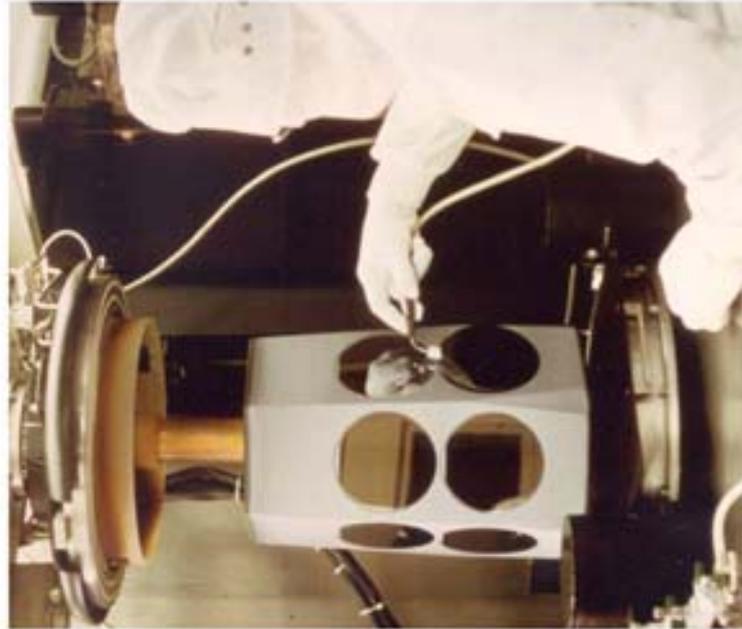
Vom Wafer zum Chip





3.7 Halbleiterherstellung - Folie 7

Suszeptoren für Epitaxieverfahren

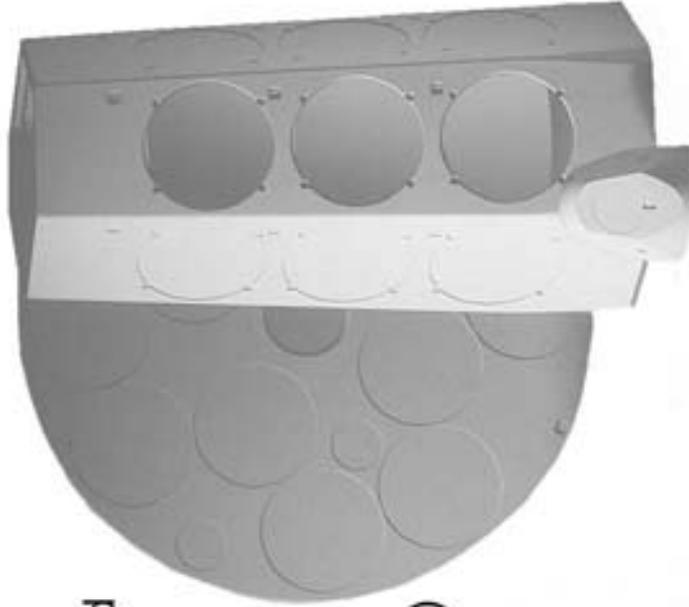


SiC- beschichteter Graphit für die Halbleitertechnik

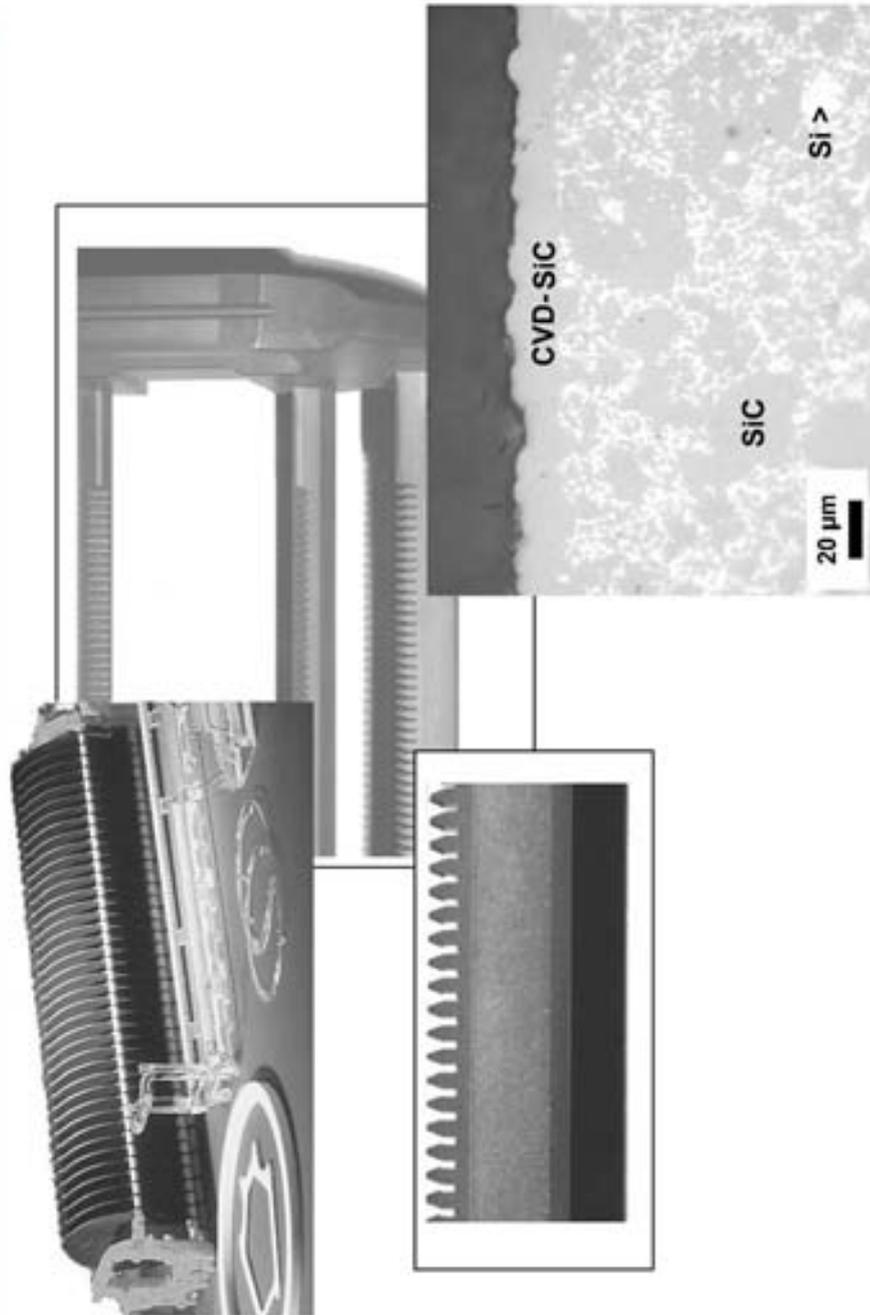


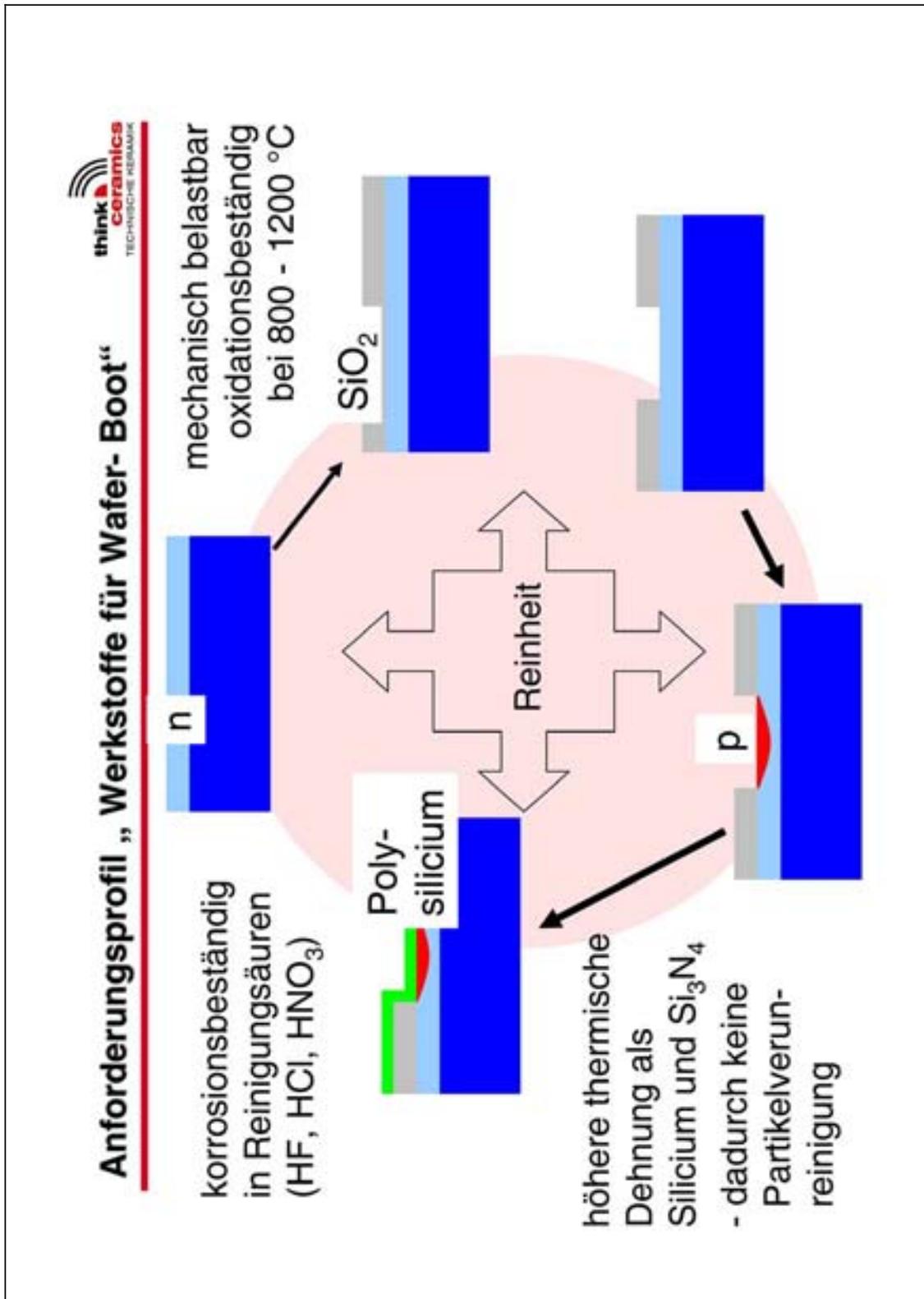
Einsatz als Planar- oder Barrel-susceptor beim Epitaxieverfahren

- Hohe Korrosionsbeständigkeit und geringe Partikelverunreinigung durch SiC Beschichtung, hergestellt mittels chemical vapor deposition (CVD)
- Extreme Reinheit (Gesamtverunreinigung < 10 ppm)
- Hohe Biegefestigkeit und Formstabilität bei Prozeßtemperaturen um 1400 °C



Wafer-Boote für Oxidation, Diffusion und Abscheidung





3.7 Halbleiterherstellung - Folie 11

Verunreinigungen in SiSiC- Werkstoffen



	SiSiC		CVD-SiC
	Standard	Reinst	
Al	390	2.0	<0.01
B	700		0.03
Ca	100	5.0	<0.05
Co			<0.005
Cr	41	0.1	<0.01
Cu		0.02	<0.05
Fe	490	1.5	0.02
K	170	<0.05	0.06
Mg		<0.05	<0.01
Mn	31	<0.01	<0.01
Mo		0.4	<0.005
Na		0.1	<0.01
Ni	140	0.2	<0.01
Ti	110	0.2	<0.01
V	200	<0.005	<0.005
W		<0.1	<0.01
Zn		<0.4	<0.05
Zr		<0.05	<0.01

